اندازه‌گیری و برآورد تراز سطح ایستابی و میزان تخلیه زهکشی در جریان غیر ماندگار

جواد جعفری[۱]، امیرحسین ناظمی[۲]، سید علی اشرف صدرالدینی[۳]، علی افروزی[۴]

تاریخ دریافت: ۹۱/۰۲/۲۳
تاریخ پذیرش: ۹۱/۸/۱۳

مقاله برگرفته از پایان نامه کارشناسی ارشد

چکیده

پیش‌بینی تراز سطح ایستابی و میزان تخلیه سیستم زهکشی یکی از مسائل بسیار مهم در زمینه مهندسی زهکشی می‌باشد. در پیش‌بینی تراز سطح ایستابی ومیزان تخلیه زهکشی در جریان غیر ماندگار آب عمدتاً از سه مدل کراجنهوف وان دلور - ماسلند، دوزو - هلین‌گا و گلور - دام استفاده می‌شود. برای مقایسه توانایی این مدل‌ها، یک آزمایش با استفاده از مدل فیزیکی آزمایشگاهی انجام شد. داده‌های آزمایشگاهی برای شرایط بار ایستابی ثابت و متغیر و با توجه به شرایط مرزی هر کدام از مدل‌ها برداشته شد. نتایج تطابق خوبی را با داده‌های مشاهداتی نشان داد. در حالت سطح ایستابی خیزان دو مدل کراجنهوف وان دلور - ماسلند و دوزو - هلین‌گا میزان تخلیه زهکش‌ها را کمتر و تراز سطح ایستابی را بیشتر از داده‌های مشاهداتی تخمین زدند، هم‌چنین پیش‌بینی‌های مدل کراجنهوف وان دلور – ماسلند بهتر از مدل دوزو - هلین‌گا بود. برای حالت سطح ایستابی خیزان پیش‌بینی مدل دوزو - هلین‌گا نزدیک به واقعیت به دست آمد. دقت پیش‌بینی هر سه مدل با گذشت زمان کاسته شد و با نزدیک شدن به زمان انتهایی آزمایش به یکدیگر همگرا شدند.

واژه‌های کلیدی: پیش‌بینی، تخلیه زهکش‌ها، تراز سطح ایستابی، دوزو – هلین‌گا، زهکشی غیر ماندگار، کراجنهوف وان دلور – ماسلند، گلور – دام.

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز- همراه: ۰۹۱۹۱۴۱۹۶۸۰،
پست الکترونیکی: j.jafari88@ms.tabrizu.ac.ir (نویسنده مسئول)
[۲] استاد گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز- تلفن: ۳۳۹۲۷۹۰ -۰۴۱۱- همراه: ۰۹۱۴۳۱۳۵۲۸۱
پست الکترونیکی: ahnazemi@yahoo.com
[۳] دانشیار گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز- تلفن: ۳۳۹۲۷۹۲-۰۴۱۱- همراه: ۰۹۱۴۳۱۳۵۷۹۷
پست الکترونیکی: alisadraddini@yahoo.com
[۴] دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز- همراه: ۰۹۱۸۹۰۹۴۴۳۶
پست الکترونیکی: a.afruzi@yahoo.com

مقدمه

اجرای سیستم‌های زهکشی در زمین‌های کشاورزی که از زهکش‌های طبیعی برخوردار نیستند یکی از ملزومات کشاورزی پایدار می‌باشد. برای طراحی و ارزیابی سیستم‌های زهکشی می‌بایست جریان آب به طرف زهکش‌ها، تغییرات تراز سطح ایستابی و تخلیه زهکش‌ها مدل شوند. بدین منظور مدل‌هایی توسط متخصصین علم آبیاری و زهکشی ارایه شده است. مدل‌های ارایه شده توسط این متخصصین از نظر رژیم جریان در دو دسته کلی قرار می‌گیرند. دسته اول مدل‌هایی اند که تغذیه (بارندگی و آبیاری) و تخلیه زهکش‌ها را در طی زمان ثابت و ماندگار فرض می‌کنند که در نتیجه آن، سطح ایستابی نیز در طی زمان ثابت در نظر گرفته می‌شود. دسته دوم مدل‌هایی می‌باشند که تغذیه، تخلیه زهکش‌ها و سطح ایستابی را طی زمان متغیر در نظر می‌گیرند و به مدل‌های جریان غیر ماندگار موسومند (اسمدما و رایکرافت، ۱۹۸۳).

غالباً در طرح‌های زهکشی از روابط مدل‌های جریان ماندگار استفاده می‌شود (اسمدما و رایکرافت، ۱۹۸۳). فرض ماندگاری جریان در اغلب موارد قابل قبول است اما در مواردی که آبیاری به طور متناوب صورت می‌گیرد و یا باران با شدت زیاد می‌بارد دیگر فرض تغذیه دایم سفره آب زیرزمینی صادق نیست (وسلینگ، ۱۹۷۳). نوسان تراز سطح ایستابی در طول زمان باعث ایجاد جریان غیر ماندگار می‌شود و به تبع آن دبی خروجی نسبت به زمان متغیر خواهد بود (دجورویچ و همکاران، ۲۰۰۰).

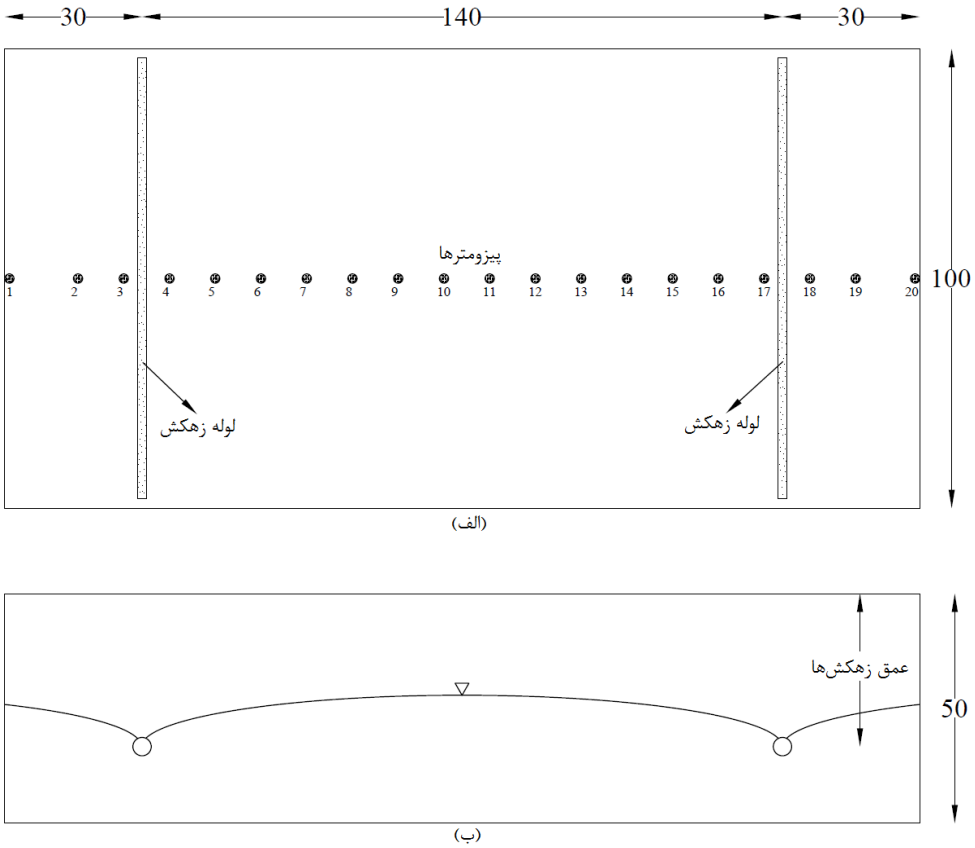
سالیهو و رافیندادی (۱۹۸۹) با تحقیقی که بر روی مخزن شنی انجام دادند نتیجه گرفتند که فاصله بین زهکش‌ها، شدت تغذیه، شدت تخلیه و ارتفاع آب داخل لوله زهکش در شکل‌گیری و میزان نوسان تراز سطح ایستابی مؤثرند، تحت چنین شرایطی می‌بایست از معادلات ارایه شده توسط مدل‌های جریان غیر ماندگار استفاده کرد. دجورویچ و ستروچیویچ (۲۰۰۳) معادله کراجنهوف وان دلور - ماسلند را برای تعیین فواصل زهکشی در شرایط غیر ماندگار به کار بردند و مشاهده نمودند که این روش فواصل زهکشی را بزرگ‌تر از مقدار واقعی تخمین می‌زند. دجورویچ و همکاران (۲۰۰۰) با استفاده از معادله غیر ماندگار گلور - دام مشاهده نمودند که هرچه فاصله بین زهکش‌ها بیشتر باشد دقت این معادله در تعیین فاصله زهکش‌ها بالاتر خواهد بود. تریپاسی و همکاران (۲۰۰۸) سه معادله غیر ماندگار گلور - دام، دوزو - هلین‌گا و کراجنهوف وان دلور - ماسلند را در تخمین تراز سطح ایستابی و تخلیه زهکش‌ها بررسی نمودند و به این نتیجه رسیدند که معادله گلور - دام در تخمین تراز سطح ایستابی و تخلیه زهکش‌ها، نسبت به دو روش دیگر از دقت بالایی برخوردار است. کارایی بالای معادله گلور - دام توسط فرینچ و اوکالاگان (۱۹۶۶)، راوات (۲۰۰۱)، راجاد (۱۹۹۵) نیز گزارش شده است. اشتبنگر (۲۰۰۹) تحقیقی در مورد تخلیه زهکش‌ها در شرایط جریان غیر ماندگار در منطقه‌ای از کشور چک انجام داد و نتایج حاصل از تخمین تخلیه زهکش‌ها با استفاده از معادله دوزو - هلین‌گا را رضایت بخش گزارش نمود. هم‌چنین بیان داشت که این روش در تخمین دبی خروجی سیستم‌های زهکشی زیرزمینی کارایی بالایی دارد.

در این تحقیق با استفاده از یک مدل آزمایشگاهی و معادله‌های غیر ماندگار کراجنهوف وان دلور - ماسلند، دوزو - هلین‌گا و گلور - دام رفتار تراز سطح ایستابی و تخلیه زهکش‌ها نسبت به زمان در دو حالت سطح ایستابی افتان و خیزان بررسی شد.

مواد و روش‌ها

مدل فیزیکی

برای انجام آزمایشات در این تحقیق از مدل فیزیکی آزمایشگاه منابع آب دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز استفاده شد. مدل فیزیکی محفظه‌ای مکعب مستطیلی شکل فلزی-شیشه‌ای با ابعاد، طول دو متر، عرض یک متر و ارتفاع ۰/۵ متر می‌باشد. به منظور تعیین موقعیت سطح ایستابی در خاک ۲۰ عدد پیزومتر در کف مدل قرار داده شده بود. دو لوله مشبک فلزی با قطر دو سانتی‌متر به عنوان لوله‌های زهکش در مدل تعبیه شد. موقعیت قرارگیری لوله‌ها و پیزومترها در شکل(۱) آورده شده است. آزمایشات برای سه عمق ۴۰، ۳۰ و ۲۰ سانتی‌متری از سطح خاک و برای فاصله ۱/۴ متری بین زهکش‌ها انجام گرفت. سه عمق مختلف برای بررسی تأثیر عمق بر دبی خروجی در نظر گرفته شد.



شکل(۱): شماتیک مدل فیزیکی (ابعاد بر حسب سانتی‌متر)الف) پلان مدل فیزیکی ب) برش عرضی مدل فیزیکی

در قسمت فوقانی مدل، یک سیستم آبیاری بارانی شامل چهار لاترال و هشت آبپاش در ارتفاع ۶۰ سانتی‌متری از سطح خاک قرار داده شده بود که از آن جهت تولید بارش و انجام عمل آبیاری استفاده گردید. به منظور بررسی افت و خیز سطح ایستابی و جریان آب به سمت زهکش‌ها از خاک با بافت شن درشت که دارای هدایت هیدرولیکی بالایی بود استفاده شد. برای برداشت داده‌های مورد نیاز ابتدا دو لوله زهکش در ارتفاع ۱۰ سانتی‌متری از کف مدل فیزیکی قرار داده شد و سپس خاک با تراکم یکنواختی تا عمق ۰/۵ متر در مدل ریخته شد. پس از خاکریزی خروجی زهکش‌ها را بسته و خاک را به طور کامل اشباع کردیم تا یکنواختی خاک افزایش یابد، پس از آن خروجی لوله‌های زهکش باز شد و آب به طور کامل خارج گردید. آزمایشات برای دو حالت کلی سطح ایستابی خیزان (بالا رونده) و افتان (پایین رونده) انجام گرفت، شرایط اولیه برای این دو حالت زهکشی در جدول(۱) آورده شده است. در حالت خیزان عمل آبیاری هم‌زمان با عمل زهکشی صورت می‌گرفت در حالی که برای حالت افتان خروجی زهکش‌ها بسته بود و با اتمام آبیاری خروجی باز می‌شد.

جدول(۱): شرایط اولیه سطح ایستابی در دو حالت زهکشی؛ سطح ایستابی خیزان و افتان

عمق زهکش‌ها از سطح خاک (سانتی‌متر)	عمق سطح ایستابی اولیه در حالت خیزان از سطح خاک (سانتی‌متر)	عمق سطح ایستابی اولیه در حالت افتان از سطح خاک (سانتی‌متر)
۲۰	۲۰	۶
۳۰	۳۰	۱۱
۴۰	۴۰	۱۹

سطح ایستابی برای حالت‌های خیزان و افتان در شروع آزمایش به ترتیب هم‌تراز با لوله زهکش و بالای لوله زهکش به صورت افقی تثبیت شد و نوسانات سطح ایستابی و دبی خروجی از زهکش‌ها برای این دو حالت به ترتیب در فواصل زمانی پنج و سه دقیقه ثبت شدند.

آزمایشات مشابه برای عمق‌های کارگذاری ۳۰ و ۲۰ سانتی‌متری لوله‌های زهکش تکرار گردید.

معادله کراجنهوف وان دلور - ماسلند

کراجنهوف وان دلور (۱۹۵۸) و ماسلند (۱۹۵۹) هر یک به طور جداگانه راه‌حل‌هایی برای جریان آب به طرف زهکش‌ها در شرایط غیرماندگار جریان ارایه نمودند، اساس معادله آن‌ها بر تغذیه مداوم و یکنواخت برای هر مدت زمان دلخواه t می‌باشد. تراز سطح ایستابی در وسط دو زهکش در این رابطه با توجه به معادله زیر محاسبه می‌شود.

$$h_t = \frac{4}{\pi}\frac{R}{\mu} j \sum_{n=1,-3,5,\dots}^{\infty} \frac{1}{n^3}\left(1-e^{-n^2 t/j}\right) \qquad (۱)$$

شرایط اولیه و مرزی برای دست‌یابی به رابطه فوق بدین ترتیب است که در شروع آزمایش در زمان t=0 سطح ایستابی در تراز زهکش‌ها قرار دارد و شدت تغذیه برای t≥0 برابر R متر در روز می‌باشد. در رابطه(۱)، j ضریب مخزن یا معکوس ضریب عکس العمل α می‌باشد و به صورت رابطه زیر تعریف می‌شود.

$$j = \frac{1}{\alpha} = \frac{\mu L^2}{\pi^2 K d} \qquad (۲)$$

در روابط فوق K هدایت هیدرولیکی خاک، d عمق معادل، μ تخلخل قابل زهکشی و L فاصله زهکش‌ها می‌باشد.

مقدار دبی تخلیه شده از زهکش‌ها با توجه به رابطه کراجنهوف وان دلور - ماسلند از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$q_t = \frac{8}{\pi^2} R \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{1}{n^2}\left(1-e^{-n^2 t/j}\right) \qquad (۳)$$

اساس این مدل برای سطح ایستابی خیزان ارائه شده است. بدین ترتیب که سطح ایستابی در زمان صفر در تراز زهکش‌ها قرار دارد و با شروع تغذیه ارتفاع سطح ایستابی در وسط دو زهکش افزایش پیدا می‌کند (وسلینگ، ۱۹۷۳).

معادله دوزو - هلین‌گا

دوزو و هلین‌گا (۱۹۵۸) معادلاتی ارائه نمودند که با توجه به آن‌ها می‌توان وضعیت سطح ایستابی و نوسانات دبی زهکش را در شرایط رژیم غیرماندگار بررسی کرد. برای پیش‌بینی تراز سطح ایستابی در وسط فاصله دو زهکش از رابطه زیر استفاده می‌شود.

$$h_t = h_{t-1} e^{-\alpha \Delta t} + \frac{R_{\Delta t}}{0.8\mu\alpha}\left(1-e^{-\alpha \Delta t}\right) \qquad (۴)$$

در رابطه فوق h_t تراز سطح ایستابی در نقطه وسط بین دو زهکش در زمان t و $R_{\Delta t}$ متوسط مقدار تغذیه در زمان Δt می‌باشد.

برای محاسبه مقدار دبی تخلیه شده از زهکش‌ها در این روش از رابطه زیر استفاده می‌شود.

$$q_t = q_{t-1} e^{-\alpha \Delta t} + R_{\Delta t}\left(1-e^{-\alpha \Delta t}\right) \qquad (۵)$$

معادله گلور - دام

دام (۱۹۵۴) راه‌حلی برای معادله‌ای که گلور[1] پیشنهاد کرده بود پیدا نمود، گلور یک سطح ایستابی افقی اولیه‌ای که در ارتفاع معینی در بالای سطح زهکش‌ها قرار دارد فرض نمود. این راه‌حل، پایین آمدن سطح ایستابی را تابعی از زمان، مکان، فاصله زهکش‌ها و خواص خاک می‌داند. محاسبه تراز سطح ایستابی در نقطه وسط دو زهکش در هر زمان دلخواه t با توجه به رابطه زیر قابل محاسبه است.

$$h_t = \frac{4}{\pi} h_0 \sum_{n=1,-3,5,\dots}^{\infty} \frac{1}{n} e^{-n^2 \alpha t} \qquad (۶)$$

رابطه گلور - دام حالتی را توصیف می‌کند که سطح ایستابی پس از آبیاری بالا آمده باشد و پس از اتمام آبیاری زهکش‌ها شروع به تخلیه آب زیرزمینی می‌کنند. برای محاسبه دبی خروجی از زهکش‌ها از رابطه زیر استفاده می‌شود.

$$q_t = \frac{2\pi K d}{L^2} h_t \qquad (۷)$$

[1] Glover

این مدل برای سطح ایستابی افتان ارائه شده است. بدین ترتیب که سطح ایستابی در زمان صفر در ارتفاعی معلوم بالای تراز زهکش‌ها به صورت افقی قرار دارد و ارتفاع سطح ایستابی پس از باز شدن خروجی زهکش‌ها افت پیدا می‌کند.

معیارهای ارزیابی مدل

به منظور ارزیابی مدل‌ها در پیش‌بینی تراز سطح ایستابی و تخلیه زهکش‌ها می‌توان از چندین پارامتر استفاده کرد. در این تحقیق سه معیار آماری جذر میانگین مربع خطا، خطای نسبی و ضریب تبیین مورد استفاده قرار گرفت.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(P_i - O_i\right)^2}{n}} \qquad (۸)$$

که در آن RMSE جذر میانگین مربع خطا؛ O_i داده مشاهداتی iام؛ P_i داده پیش‌بینی شده iام و n تعداد کل مشاهدات می‌باشد.

$$RE = \frac{RMSE}{\bar{O}} \qquad (۹)$$

که در آن RE خطای نسبی؛ $\bar{O}$ مقدار متوسط O_i با i=1, 2, 3, …,n می‌باشد.

$$R^2 = \left(\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(P_i - \bar{P}\right)\left(O_i - \bar{O}\right)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}\left(P_i - \bar{P}\right)^2\left(O_i - \bar{O}\right)^2}} \right)^2 \qquad (۱۰)$$

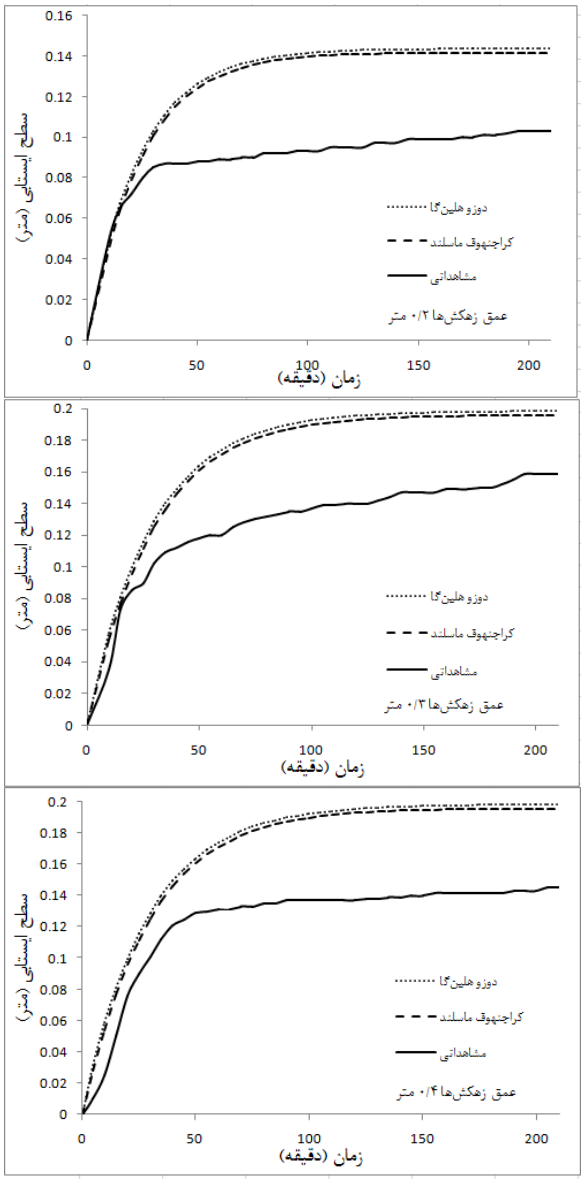
که در آن R^2 ضریب تبیین می‌باشد.

نتایج و بحث

سطح ایستابی خیزان

در این حالت برای بررسی موقعیت سطح ایستابی و دبی خروجی از دو مدل کراجنهوف وان دلور - ماسلند و دوزو - هلین‌گا استفاده شد. زمان آزمایش در این حالت ۲۱۰ دقیقه در نظر گرفته شد، که در این زمان برای هر سه عمق مختلف رژیم جریان ماندگار برقرار می‌شد.

ارتفاع سطح ایستابی از تراز لوله‌های زهکشی در وسط دو زهکش نسبت به زمان در شکل(۲) ارائه شده است. مشاهده می‌شود که هر دو مدل دوزو - هلین‌گا و کراجنهوف وان دلور - ماسلند سطح ایستابی را بیش از مقادیر مشاهداتی پیش‌بینی کرده‌اند؛ این پیش‌بینی در زمان‌های آغازین از شروع آزمایش نزدیک به واقعیت به دست آمد، اما با گذشت زمان از مقادیر مشاهداتی فاصله گرفت. مدل دوزو - هلین‌گا سطح ایستابی را بیشتر از مدل کراجنهوف وان دلور - ماسلند پیش‌بینی کرد. به طور کلی پیش‌بینی‌های این دو مدل بسیار نزدیک به یکدیگر به دست آمد.

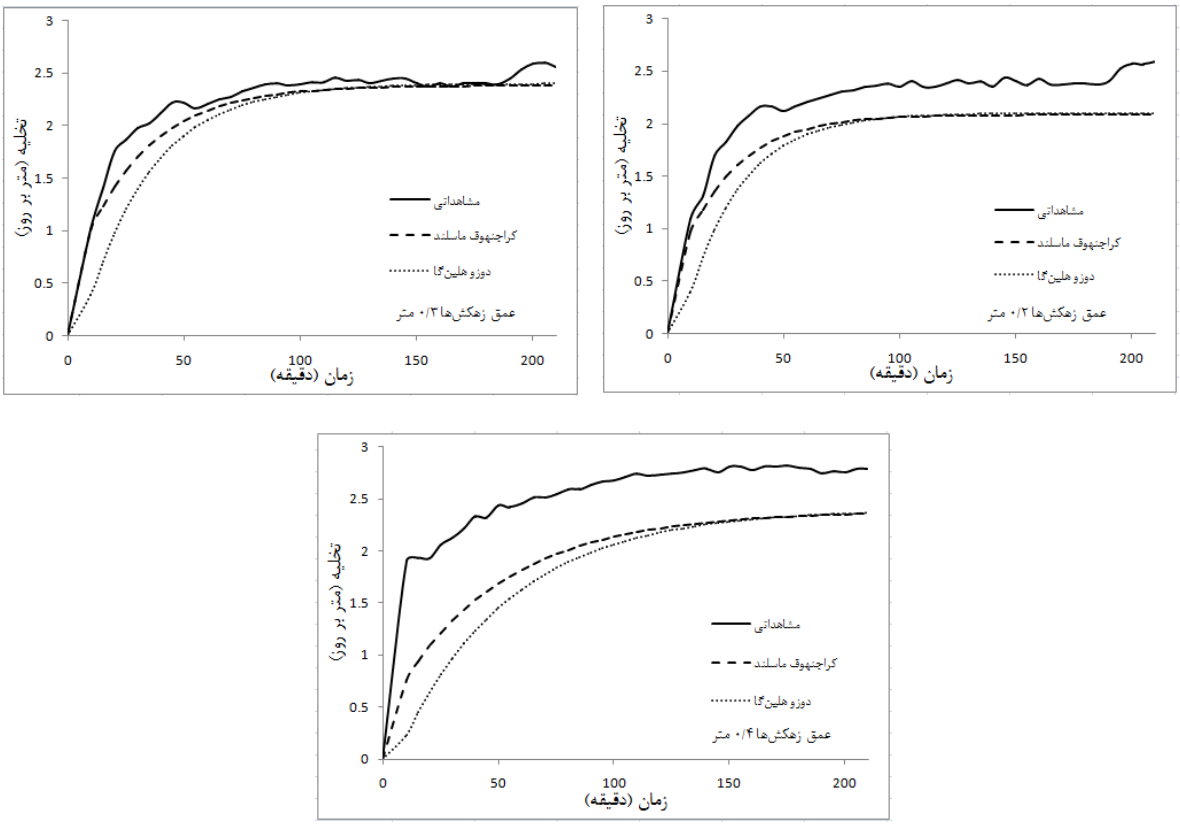


شکل(۲): سطح ایستابی مشاهداتی و پیش‌بینی شده مدل‌های دوزو - هلین‌گا و کراجنهوف وان دلور - ماسلند در سطح ایستابی خیزان.

مقادیر معیارهای ارزیابی مدل در پیش‌بینی تراز سطح ایستابی در جدول(۲) برای حالت سطح ایستابی خیزان آورده شده است. با توجه به این جدول می‌توان دریافت که مدل کراجنهوف وان دلور - ماسلند با داشتن مقدار کوچکتر جذر میانگین مربع خطا در پیش‌بینی تراز سطح ایستابی بهتر از مدل دوزو - هلین‌گا عمل کرده است. برای مثال در عمق ۰/۲ متر از سطح خاک مقدار RMSE برای دو مدل کراجنهوف وان دلور – ماسلند و مدل دوزو - هلین‌گا به ترتیب برابر با ۰/۰۳۸۹ و ۰/۰۴۰۸ متر به دست آمد.

شکل(۳) مقادیر تخلیه زهکش‌ها را نسبت به زمان برای داده‌های مشاهداتی و دو مدل نشان می‌دهد. در این شکل مشاهده می‌شود که همواره مقادیر دبی تخلیه که دو مدل پیش‌بینی نموده است از مقادیر مشاهداتی کوچک‌تر است. مدل کراجنهوف وان دلور - ماسلند پیش‌بینی‌های بهتری برای دبی تخلیه ارائه نموده است. دو مدل در پیش‌بینی‌های ابتدای آزمایش اختلاف‌هایی با یکدیگر دارند اما با گذشت زمان پیش‌بینی‌های دو مدل به یکدیگر نزدیک شده و برای هر سه عمق از دقیقه ۱۰۰ به بعد تخلیه پیش‌بینی شده برای دو مدل تقریباً یکسان است. پیش‌بینی تخلیه زهکش‌ها با مدل کراجنهوف وان دلور - ماسلند در زمان‌های ابتدایی نسبت به مدل دوزو - هلین‌گا به واقعیت نزدیک‌تر بوده است.

جدول(۳) مقادیر معیارهای ارزیابی مربوط به میزان تخلیه زهکش برای حالت سطح ایستابی خیزان دو مدل را ارائه می‌دهد. از این جدول می‌توان دریافت که مدل کراجنهوف وان دلور – ماسلند به دلیل RMSE کمتر و R^2 بالاتر، تخلیه از زهکش‌ها را نسبت به مدل دوزو - هلین‌گا بهتر تخمین می‌زند. برای مثال در عمق ۰/۳ متر از سطح خاک مقدار RMSE برای دو مدل کراجنهوف وان دلور – ماسلند و مدل دوزو - هلین‌گا به ترتیب برابر با ۰/۱۳۵۹ و ۰/۲۷۸۵ متر بر روز و مقادیر R^2 به ترتیب برابر با ۰/۹۶ و ۰/۸۹ به دست آمد.



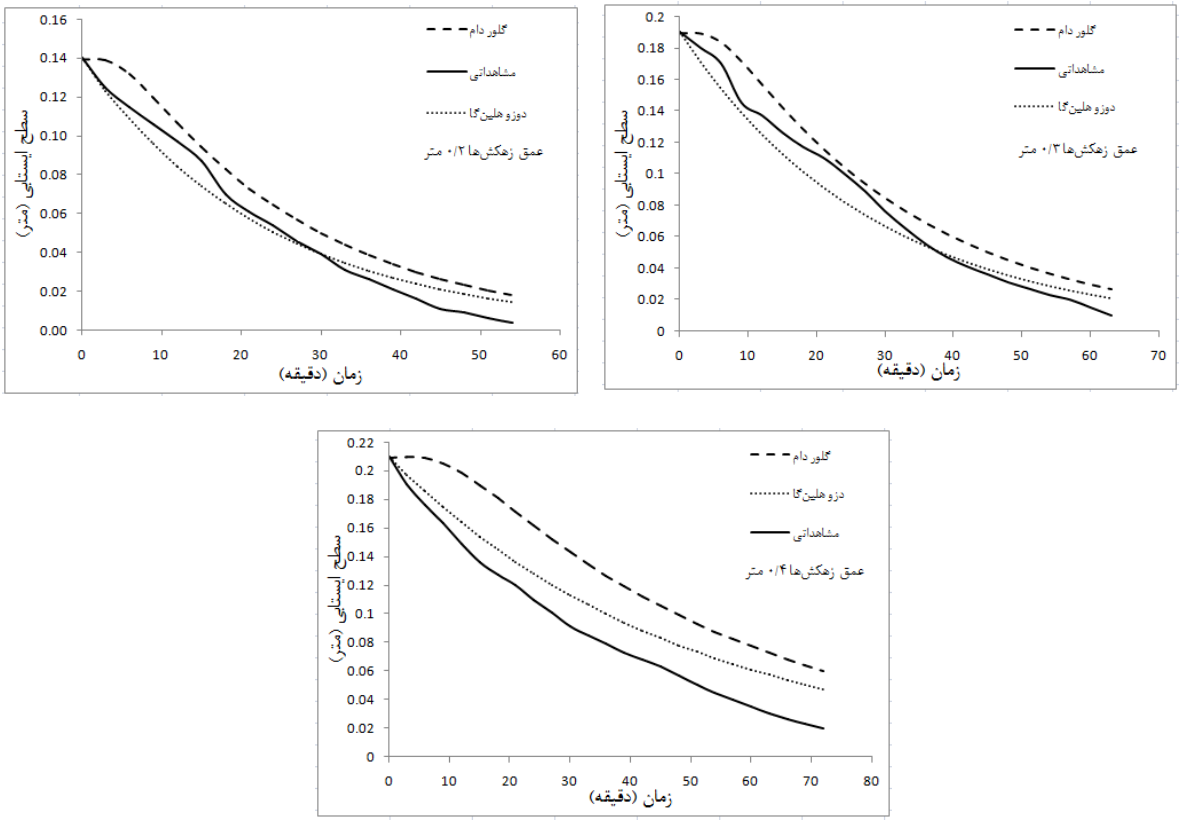
شکل (۳): تخلیه مشاهداتی و پیش‌بینی شده مدل‌های دوزو - هلین‌گا و کراجنهوف وان دلور - ماسلند در سطح ایستابی خیزان

سطح ایستابی افتان

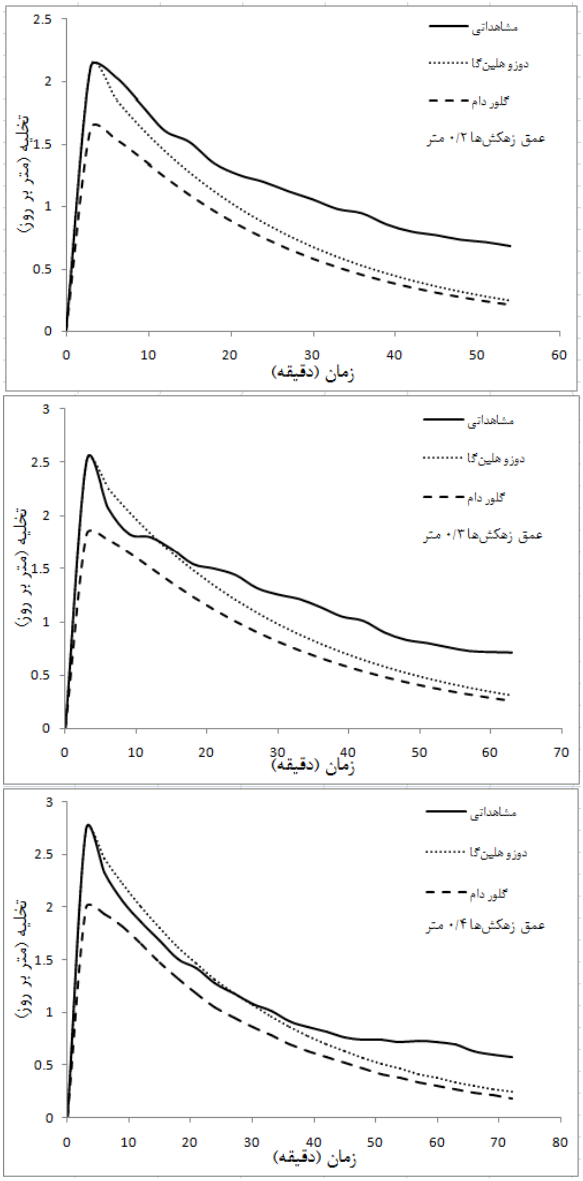
در این حالت موقعیت سطح ایستابی و دبی خروجی با استفاده از دو مدل گلور - دام و دوزو - هلین‌گا پیش‌بینی شد و با داده‌های مشاهداتی مقایسه گردید. آزمایش تا زمانی ادامه یافت که سطح ایستابی در وسط فاصله دو زهکش تقریباً تا تراز لوله‌های زهکش نزول کند.

شکل(۴) ارتفاع سطح ایستابی را از تراز لوله‌های زهکش نسبت به زمان برای داده‌های مشاهداتی و پیش‌بینی مدل‌های دوزو - هلین‌گا و گلور - دام نشان می‌دهد با توجه به این شکل مشاهده می‌شود که مدل گلور - دام مقادیر بزرگتری را برای سطح ایستابی پیش‌بینی نموده است. مدل دوزو - هلین‌گا نسبت به مدل گلور - دام سطح ایستابی را بهتر پیش‌بینی کرد و پیش‌بینی‌های آن به سطح ایستابی مشاهداتی نزدیک‌تر است. با نزدیک شدن به انتهای آزمایش اختلاف مقادیر پیش‌بینی دو مدل از مقادیر مشاهداتی بیشتر گردید و هم‌چنین مقادیر پیش‌بینی شده توسط دو مدل در زمان‌های انتهایی با یکدیگر همگرا شدند.

در جدول(۲) مقادیر معیار ارزیابی به منظور مقایسه دو مدل در پیش‌بینی تراز سطح ایستابی برای حالت سطح ایستابی افتان آورده شده است. با توجه به اینکه مقادیر جذر میانگین مربع خطا مدل دوزو - هلین‌گا کمتر است می‌توان گفت که این مدل نسبت به مدل گلور - دام تخمین بهتری از سطح ایستابی دارد. برای مثال در عمق ۰/۲ متر از سطح خاک مقادیر RMSE برای دو مدل دوزو - هلین‌گا و گلور – دام به ترتیب برابر با ۰/۰۰۷۴ و ۰/۰۱۲۶ متر به دست آمد.



شکل(۴): سطح ایستابی مشاهداتی و پیش‌بینی شده توسط مدل‌های دوزو - هلین‌گا و گلور - دام در شرایط سطح ایستابی افتان



شکل (۵): مقادیر تخلیه مشاهداتی و پیش‌بینی شده توسط مدل‌های دوزو – هلین‌گا و گلور – دام در سطح ایستابی افتان

شکل(۵) مقادیر تخلیه زهکش نسبت به زمان را برای مقادیر مشاهداتی و پیش‌بینی مدل‌های گلور - دام و دوزو - هلین‌گا نشان می‌دهد. باید توجه داشت در لحظه شروع آزمایش خروجی زهکش‌ها بسته و تخلیه زهکش‌ها صفر می‌باشد. در استفاده از رابطه(۷) مدل گلور - دام برای پیش‌بینی تخلیه زهکش‌ها در لحظه شروع آزمایش باید به این نکته توجه داشت و برای پیش‌بینی تخلیه زهکش‌ها در زمان صفر از این رابطه استفاده نکرد. زیرا که در زمان صفر تراز سطح ایستابی وجود دارد که در نتیجه آن رابطه(۷) مقداری مشخص برای تخلیه زهکش‌ها به دست می‌دهد و این مقدار در حالی پذیرفتنی است که خروجی زهکش‌ها باز باشند. با توجه به شکل ۵ می‌توان دریافت که در پیش‌بینی دبی تخلیه زهکش‌ها مدل دوزو - هلین‌گا مقادیری بهتری را ارائه کرده و پیش‌بینی‌های آن به داده‌های مشاهداتی نزدیک‌تر به دست آمده است؛ هم‌چنین از جدول(۳) برای حالت سطح ایستابی افتان می‌توان دریافت که مدل دوزو – هلینگا به دلیل RMSE کمتر و R^2 بالاتر، میزان تخلیه از زهکش‌ها را نسبت به مدل گلور - دام بهتر تخمین می‌زند.

برای مثال در عمق ۰/۳ متر از سطح خاک مقدار RMSE برای دو مدل دوزو – هلینگا و گلور - دام به ترتیب برابر با ۰/۲۷۱۰ و۰/۴۱۱۳ متر بر روز و مقادیر R^2 به ترتیب برابر با ۰/۹۵ و ۰/۹۴ به دست آمد.

نتیجه‌گیری

پیش‌بینی تراز سطح ایستابی توسط دو مدل کراجنهوف وان دلور - ماسلند و دوزو - هلین‌گا در حالت سطح ایستابی خیزان بسیار نزدیک به یکدیگر به دست آمد. برای عمق‌های مختلف نصب لوله زهکشی این دو مدل سطح ایستابی را بزرگ‌تر از داده‌های مشاهداتی پیش‌بینی می‌کنند. مدل کراجنهوف وان دلور - ماسلند در پیش‌بینی تخلیه از زهکش‌ها در زمان‌های ابتدایی آزمایش بهتر از مدل دوزو - هلین‌گا عمل نمود اما با گذشت زمان مقادیر پیش‌بینی این دو مدل بسیار به یکدیگر نزدیک شدند و با اختلافی کوچک مدل کراجنهوف وان دلور - ماسلند بهتر پیش‌بینی نمود. پیش‌بینی تخلیه از زهکش‌ها توسط این دو مدل در تمام اعماق نصب زهکش‌ها کوچک‌تر از داده‌های مشاهداتی به دست آمد.

جدول(۲): مقادیر معیارهای ارزیابی مدل‌ها در پیش‌بینی تراز سطح ایستابی

حالت	مدل	عمق زهکش‌ها (متر)	RMSE (متر)	RE	R^2
سطح ایستابی خیزان	کراجنهوف وان دلور – ماسلند	۰/۲	۰/۰۳۸۹	۰/۴۳۱۸	۰/۹۰۸۰
		۰/۳	۰/۰۴۳۹	۰/۳۴۱۴	۰/۹۵۹۴
		۰/۴	۰/۰۴۶۴	۰/۳۷۸۳	۰/۹۷۴۶
	دوزو - هلین‌گا	۰/۲	۰/۰۴۰۸	۰/۴۵۲۲	۰/۹۱۵۳
		۰/۳	۰/۰۴۶۶	۰/۳۶۲۵	۰/۹۶۰۳
		۰/۴	۰/۰۴۹۱	۰/۴۰۰۶	۰/۹۷۴۹
سطح ایستابی افتان	گلور – دام	۰/۲	۰/۰۱۲۶	۰/۲۲۵۳	۰/۹۹۳۷
		۰/۳	۰/۰۱۳۶	۰/۱۶۴۹	۰/۹۹۰۳
		۰/۴	۰/۰۴۴۲	۰/۴۸۶۷	۰/۹۵۸۰
	دوزو - هلین‌گا	۰/۲	۰/۰۰۷۴	۰/۱۳۲۳	۰/۹۸۴۳
		۰/۳	۰/۰۱۰۲	۰/۱۲۴۲	۰/۹۸۲۵
		۰/۴	۰/۰۲۰۶	۰/۲۲۶۹	۰/۹۹۸۵

جدول (۳): مقادیر معیارهای ارزیابی مدل‌ها در پیش‌بینی میزان تخلیه زهکش‌ها

حالت	مدل	عمق زهکش‌ها (متر)	RMSE (متر بر روز)	RE	R^2
سطح ایستابی خیزان	کراجنهوف وان دلور - ماسلند	۰/۲	۰/۳۲۱۱	۰/۱۴۵۸	۰/۹۷۷۹
		۰/۳	۰/۱۳۵۹	۰/۰۶۱۱	۰/۹۶۶۲
		۰/۴	۰/۶۰۳۷	۰/۲۳۹۷	۰/۸۷۵۲
	دوزو - هلین‌گا	۰/۲	۰/۳۸۹۴	۰/۱۷۶۸	۰/۹۲۲۶
		۰/۳	۰/۲۷۸۵	۰/۱۲۵۲	۰/۸۹۱۹
		۰/۴	۰/۷۶۶۸	۰/۳۰۴۴	۰/۷۵۲۷
سطح ایستابی افتان	گلور - دام	۰/۲	۰/۴۴۳۴	۰/۳۹۰۰	۰/۹۵۹۲
		۰/۳	۰/۴۱۱۳	۰/۳۳۷۵	۰/۹۴۶۰
		۰/۴	۰/۳۲۴۸	۰/۲۹۴۳	۰/۹۵۳۷
	دوزو - هلین‌گا	۰/۲	۰/۳۲۶۸	۰/۲۸۷۵	۰/۹۵۴۸
		۰/۳	۰/۲۷۱۰	۰/۲۲۲۴	۰/۹۵۴۹
		۰/۴	۰/۱۹۵۱	۰/۱۷۶۷	۰/۹۷۲۰

در مجموع می‌توان گفت مدل کراجنهوف وان دلور – ماسلند در شرایط مورد آزمایش این بررسی قادر است تراز سطح ایستابی و تخلیه از زهکش‌ها را در سطح ایستابی خیزان بهتر از مدل دوزو - هلین‌گا پیش‌بینی نماید.

در حالت سطح ایستابی افتان مقادیر پیش‌بینی شده مربوط به سطح ایستابی و مقادیر تخلیه زهکش‌ها توسط مدل‌های دوزو - هلین‌گا و گلور - دام در ابتدای آزمایش اختلافاتی با یکدیگر داشتند اما با نزدیک شدن به انتهای آزمایش پیش‌بینی‌های این دو مدل به یکدیگر همگرا شدند. مدل دوزو - هلین‌گا نسبت به مدل گلور - دام پیش‌بینی‌های بهتر و نزدیک‌تر به واقعیت داشته است.

به طور کلی با گذشت زمان دقت پیش‌بینی تراز سطح ایستابی و میزان تخلیه زهکش‌ها توسط مدل‌های کراجنهوف وان دلور - ماسلند، دوزو - هلین‌گا و گلور - دام کاهش یافت. هم‌چنین پیش‌بینی این مدل‌ها در زمان‌های انتهایی آزمایش بسیار نزدیک به یکدیگر به دست آمد و در واقع پیش‌بینی مدل‌ها با گذشت زمان به یکدیگر همگرا شدند.

منابع

1. J. De Zeeu and F. Hellinga. 1958. Precipitation and runoff (original title: Neerslag en afvoer). Landbouwkundig Tijdschrift (70): 405-422 (In Dutch with English summary).
2. N. Djurović, R. Stričević and R. Gajić. 2000. Some constraints of the application of methods for drain spacing determination in unsteady- state of flow in eugley soil. Journal of Agricultural Sciences, 45 (2): 83-91.
3. N. Djurović and R. Stričević. 2003. Application of Kraijenhoff Van De Leur-Maasland's method in drainage. Journal of Agricultural Sciences, 48 (2), 159-170.
4. L. Dumm. 1954. Drain spacing formula. Agricultural Engineering (35), 726-730.
5. B. French and J. O'Callaghan. 1966. A field test of drain spacing equations for agricultural land. Journal of Agricultural Engineering Research, 11 (4), 282–295.
6. D.A. Kraijenhoff Van de Leur. 1958. A study of non-steady groundwater flow with special reference to a reservoir-coefficient. De Ingenieur (40), 87-94.
7. M. Maasland. 1959. Water table fluctuations induced by intermittent recharge. Journal of Geophysical Research, 64 (5), 549-559.
8. RAJAD. 1995. Analysis of subsurface drainage design criteria. Rajasthan Agriculture Drainage Research Project, Kota, India RAJAD .
9. K. Rawat, V. Tripathi, S. Gupta and K. Rao. 2001. Effect of drain placement in a low hydraulic conductivity zone in a two layered soil profile on transmissivity of the shallow aquifer. Journal of the Indian Society of Soil Science, 49 (3), 399-406.
10. M. Salihu and N.A. Rafindadi. 1989. Nonlinear steady state seepage into drains. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 115 (3), 358-377.
11. L.K. Smedema and D.W. Rycroft. 1983. Land drainage : Planning and design of agricultural drainage systems. Batsford Academic and Educational Ltd, London, 376 p.
12. J. Štibinger, 2009. Approximation of subsurface drainage discharge by De Zeeuw - Hellinga theory and its verification in heavy soils of fluvial landscape of the Cerhovice Brook. Soil & Water Res, 4 (1), 28-38.
13. V.K. Tripathi, S. Gupta and P. Kumar. 2008. Performance evaluation of subsurface drainage system with the strategy to reuse and disposal of its effluent for arid region of India. Jour. Agric. Physics, 8, 43-50.
14. J. Wesseling. 1973. Subsurface flow into drains. In ILRI, Drainage principles and application: Theories of field drainage and watershed runoff (Vol.2). International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI), Wageningen, the Netherlands.

Measuring and estimating water table level and drainage discharge rate in unsteady flow state

J. Jafari[1], A. Nazemi[2], A. Ashraf Sadraddini[3], A. Afruzi[4]

Abstract

Prediction of water table depth and outflow rate of drainage system are the most important issues in the literature of the drainage engineering. Three models of Kraijenhoff Van de Leur – Maasland, de Zeeuw - Hellinga and Glover – Dumm are frequently used for prediction of water level and discharge rate under unsteady state flow condition. For comparing the ability of these models an experiment was conducted using a laboratorial physical model. Data were collected for constant and variable head conditions in accordance to the boundary conditions of each model. The results showed good agreement with the observation data. For water level rising condition the Kraijenhoff Van de Leur – Maasland and de Zeeuw – Hellinga models, underestimated the outflow rate and overestimated the water table level as compared to the observed data, also Kraijenhoff Van de Leur – Maasland model's prediction was better than that of de Zeeuw – Hellinga model. For the falling water table state the de Zeeuw – Hellinga model prediction was closer to the observation. The prediction accuracies of all three models decreased and converged while reaching the end of the experiment.

Keywords: De Zeeuw – Hellinga, Glover – Dumm, Kraijenhoff Van de Leur – Maasland, prediction

1 MSc student, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz.
Email: j.jafari88@ms.tabrizu.ac.ir
2 Prof, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz.
Email: ahnazemi@yahoo.com
3 Associate prof, Department of Water Engineering Faculty of Agriculture, University of Tabriz
Email: alisadraddini@yahoo.com
4 MSc student, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz.
Email: a.afruzi@yahoo.com